RSならではの3つのサービス

Wide range いろいろ選びたい! 78,000アイテムを常時在庫	**No order too small** 1つからほしい! ご注文は部品1つからOK	**Quick delivery** 今すぐほしい! 18:00までのご注文は翌日お届け (一部地域を除きます)

コールセンター(ご注文・各種お問い合わせ・テクニカルサポートはこちらまで)

平日9:00から18:00まで受付
Tel. 045-335-8888

24時間受付
Fax. 045-335-8558

テクニカルサポートのFAXはこちらで承ります **Fax. 045-335-8561**

オンラインオーダー
rswww.co.jp

アールエスコンポーネンツ株式会社 〒240-0005 神奈川県横浜市保土ヶ谷区神戸町134番地 横浜ビジネスパーク ウエストタワー12階

いつでも使える! 技術情報集

テック君の豆知識

Vol.3 2009.9

RS ONLINE

エンジニアに役立つ技術情報満載！

テック君の豆知識をはじめ、ほしい技術情報がすぐ手に入る「RSオンライン」。

■ RSオンライントップページ

■ テック君の豆知識バナー

技術コラムやオンライン講座、現場レポートなど、欲しい情報が手に入る「オンライン技術情報」

- テック君の豆知識
- ワンポイント電子技術講座
- 実録ものづくりレポート

■ オンライン技術情報

60秒で読めるメルマガが届く！ ご登録はRSオンラインまで

「テック君の豆知識」や新商品情報をEメールで配信中！

この他、さまざまなコンテンツを配信中。アクセスはこちら。 **rswww.co.jp**

CONTENTS

「テック君の豆知識」「今さら聞けないあんな質問、こんな質問」をRSがかわりに伺ってきました！

知りたい部品の常識を直接メーカーに取材してまとめた技術情報です。

その25 パワーデバイスの選択と使い方 (PowerMOS FET/Bipolar Tr/IGBT)編

＜取材協力：㈱東芝 セミコンダクター社＞

ケータイもエアコンも

■大半はスイッチとして活用

パワーを扱う半導体にはどんなものがあるのですか。

半導体というと、マイコンやメモリのような微細なICなどを思い浮かべるかもしれませんが、話を電気・電子製品に限ったとしても携帯電話、テレビ、エアコンなど、ほとんどの機器で電力用の半導体(以下、パワーデバイス)が利用されています。図1は、電気・電子製品で使うパワーデバイスのおおよそのカバー範囲を描いたものです。調光など商用周波数領域ではサイリスタ(SCR)やトライアックが使われます。これらは3端子デバイスとはいえ基本的動作はダイオードです。パワーデバイスとしてのダイオードは他にもありますが、この後はトランジスタを中心に見ていくことにします。

トランジスタとしては、低周波・小電力領域でバイポーラトランジスタ(以下BipTR)が、高速な動作や、ローパワーで低損失を必要とするものにはパワーMOS-FET(以下FET)が、比較的電力の大きなスイッチには絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(以下IGBT)が適しています。高速動作の典型は電子機器に搭載されるスイッチング電源です。IGBTは中・大型のモータの制御などのほか、デジタルカメラのフラッシュに使うキセノンランプの制御などにも使われています。何れもスイッチとしての動作形態が大半を占めます。全体のトレンドとしては、デバイスの低損失化が進み小型化が著しいこと、デバイスや周辺部品を複合化したIPD(Intelligent Power Device)が増えていること等が挙げられます。

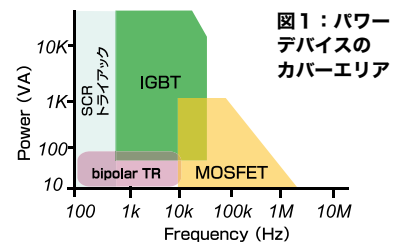
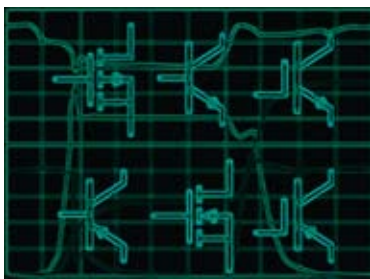



図1：パワーデバイスのカバーエリア

スイッチデバイスの4大要素

■耐圧・電流・スイッチング特性・ON抵抗

デバイスは何を目安に選択すればよいでしょうか。

パワーデバイスの多くはスイッチとして動作させるわけですから、基本的な仕様項目はスイッチと同じと考えることができます。

即ちOFF時の耐圧とON時の電流が出発点です。FETで言えばVds(ドレイン-ソース間電圧)とId(ドレイン電流)になります。これを超えるとデバイスは破壊しますので両者共に使用目的から判断して選択します。その際、電力を扱うデバイスですから安全であることが最も大切であり、仕様には十分な余裕を見込む必要があることは言うまでもありません。

スイッチ速度とオン抵抗はデバイスの損失と深く関係します。理想のスイッチは遅れ時間が無く切り替わりも瞬時で、スイッチがOFFの時は電流がゼロ、ONして電流が流れている時は端子間に電圧降下は無く電圧ゼロです。電力は電圧×電流ですから理想のスイッチは電力を消費せず損失ゼロで発熱もありません。これに対して現実のデバイスのスイッチングにおける挙動を模式的に示したのが＜図2＞です。現実のパワーデバイスは制御電圧に対して瞬時に応答するわけではなく、わずかな遅れがあります。またON/OFFも瞬間的ではなく、電圧も電流も有限の傾斜で遷移し、電圧と電流の両者が同時に有限となる期間が存在します。さらに、ON状態にあるスイッチの端子間(バイポーラトランジスタならコレクタ-エミッタ間)に電圧(ON電圧)が残ります。スイッチはONしていて電流が流れているので、スイッチの端子間に抵抗(ON抵抗)があるのと同じです。

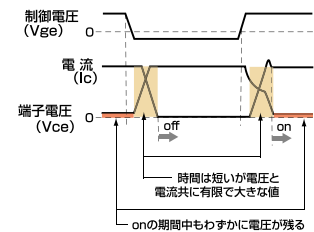



図2：スイッチング時の挙動

理想と現実

■相反関係の見極め

回路との相性みたいのものがあるのですか。

前項で説明したように現実のパワーデバイスは電圧×電流が有限なのでデバイス自体で電力損失を生じ発熱します。言い換えるならスイッチング特性はできるだけ高速でありオン抵抗はゼロ(ON電圧がゼロ)に近いことが理想ですが全てを満足するのは困難です。例えば、IGBTは耐圧が高く、ON時の損失がFETよりも小さいのが特長ですが、FETに比べスイッチングの応答性は劣ります。因みに、ON抵抗は耐圧と深い係わりがあり、FETでは耐圧が高くなるとON抵抗が急に増します。ここまでの話のまとめとしてBipTR、FET、IGBTについて典型的な品種の仕様を＜図3＞の表に示しました。それぞれに一長一短があり用途と動作を勘案した選択が必要なわけですが、同じ種類の素子を使う場合でも場所により品種を使い分けるのが得策です。例えば、＜図4＞のスイッチング電源(同期整流回路)で入出力間の降圧比が大

カテゴリ	製品名	定格電圧 [V]	定格電流 [A]	オン電圧 [V]	スイッチング周波数 [kHz]
Bip-TR	2SC6078	80	3	0.5	100以下
	2SC6042	400	1	1.0	100以下
MOSFET	2SK4017	60	5	0.25	100-150
	2SK3569	600	10	3.75	100-150
IGBT	GT20J301	600	20	2.7	20
	GT60N321	1000	60	2.8	20

図3：代表的な使用例

きい場合に、入力側のFET(ハイサイドスイッチ)は僅かな期間しかONせず、損失の多くはスイッチング時に発生します。これに対してグラウンド側のFET(ローサイドスイッチ)はオンの期間が長いのでON抵抗による損失が支配的になります。したがってハイサイドはスイッチング特性重視、ローサイドはON抵抗重視の選択が有効です。

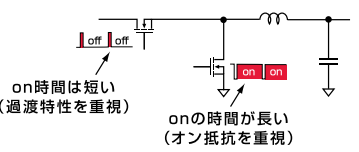



図4：動作に会わせた使い分け

安全第一

■発熱と放熱

設計上のポイントは何ですか。

パワーデバイスは安全第一であり、耐圧や電流の仕様には十分な余裕を見込む必要があることは述べましたが、実際の設計に当たってはさらに踏み込んで安全動作領域(ASO：Area of Safety Operation、SOAとも言う)を逸脱しない確認が必要です。＜図5＞はASOの一例ですがASOはデバイスの動作(連続かパルスかなど)に

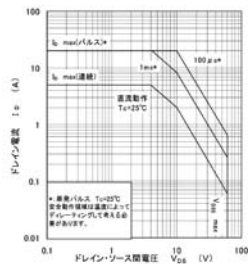
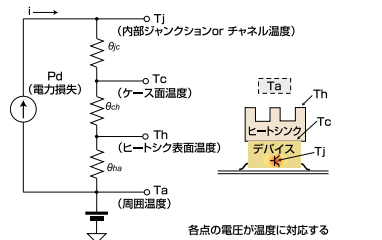



図5：ASOの例

よっても変わります。温度に対するディレーティングも必要なうえ、ON/OFF時やモータなど誘導性の負荷を接続する場合は過渡的に逸脱する可能性もあるので検証を要します。もうひとつ、パワーデバイスと切っても切り離せないのが発熱と放熱の設計です。熱設計の詳述は多に譲りますが、簡単には熱抵抗モデルを用います＜図6＞。電圧と電流の波形から電力損失を見積り、各部の温度を求めるのが手順です。この際、デバイス内の発熱部であるジャンクション(チャネル)温度と外に現れるケースの表面温度を混同しないよう注意してください。実装面ではデバイスの放熱フィンやパッドの絶縁確保、熱的に確実な取り付け、ドライバとの配線を短くすることなどが注意点として挙げられます。また、パワーデバイスと言えども静電気で破壊することがあるので、搬送や作業時の取り扱いには気を配ってください。

図6：ヒートシンクを含めた熱抵抗モデル

その26 3端子レギュレータ編

＜取材協力：㈱東芝 セミコンダクター社＞

変換と安定化

■電源の分類

今はスイッチング電源が主流だと教わりました。

電子機器内部の各所に電源を供給するために電圧変換と安定化機能を備えた回路がレギュレータ(Regulator)です。要求電圧や電流容量などは個々に異なるので、相応しいレギュレータの方式は一通りではありません。

＜図1＞はレギュレータ IC の方式分類です。スイッチングレギュレータは外付け部品が必要となりますが降圧・昇圧共に可能で、高効率・低損失なため近年大量に使用されています。ただし、ノイズやリップルなど出力特性の面ではリニアレギュレータと比較し見劣りします。別の言い方をすれば、入出力間の電圧差が比較的小さく電流容量も少ない場合や、高感度・微小レベルを扱う回路にはリニアレギュレータが有利です。シリーズレギュレータの原理を＜図2＞に示しました。入出力間にまたがるトランジスタは可変抵抗器として作用し、負帰還によって出力電圧が一定になるように制御されます。入出力の差電圧×出力電流に相当する電力損失があること、負帰還部を除けば入力電流は出力電流と等しいことを憶えておくと良いでしょう。なお、シャントレギュレータは、基準電圧の発生など限られた用途で用います。

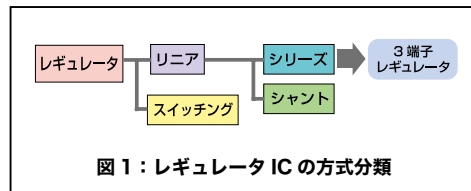



図1：レギュレータ IC の方式分類

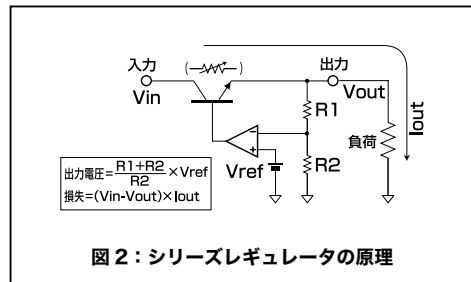



図2：シリーズレギュレータの原理

簡単で安心

■電源の定番 IC

一枚のボードでも何種類も電源が必要で困っています。

回路設計の内で電源は重要な要素なのですが、システムの中心機能の設計が先で、電源は後回しになりがちです。すなわち、電源設計に与えられる時間が少ないわけです。一方、電源をゼロから設計するというのは大きな負担です。効率の良い電圧変換と優れた安定度を満たす回路を考えるだけでも大変ですが、実際の機器に適用するわけですから、過熱や負荷の短絡などに備えた保護回路なども合わせて考えなければなりません。そんなときに助かるのが3端子レギュレータです。3端子レギュレータは入力と出力、それにグラウンドの3端子しか無いシリーズ方式のレギュレータで、市場で永年実績を持つ電源の定番 IC です＜図3＞。入出力に指定されたコンデンサをつなぐだけで使用することができ、特別な設計が要らないのが最大の特長です。もちろん、各種の保護回路も内蔵されています。出力電圧は固定で 3.3V,5V,12V や負電圧などがあり、電流容量も 30mA～1A クラスまでラインアップ(ただし、各社で異なる)されています。 因みに、外部回路の付加によって電圧可変や出力電流増強なども可能ですが、それでは設計不要のシンプルさが失われてしまうので、出力電圧の可変やオンオフなどが必要なときは専用の制御ピンをプラスしたタイプのレギュレータを利用するのが便利です。

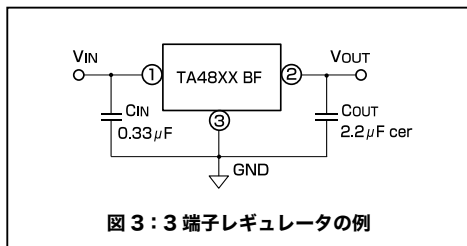



図3：3端子レギュレータの例

標準タイプと LDO タイプ

■選択と応用

電圧と電流が回路に合うものを選べば良いわけですね。

3端子レギュレータ選択の基本は出力電圧と出力電流です。ただし3端子レギュレータは初めて世に出てから年月を経ており、その間に幾つかの派生を生じています。もっとも典型的なのは LDO(Low Drop-out)タイプと呼ばれる3端子レギュレータの出現です。従来からのものを標準タイプと呼ぶとすれば、LDO タイプは入出力の電圧差(ドロップアウト電圧)が小さくても使えるのが特長です。標準タイプではドロップアウトを最低 2V 程度は確保しなければならないのに対して、LDO タイプのものでは 1V 以下、品種によっては 0.5V 以下でも動作します。最近の電子回路は低電圧化が進んでいるため、大きなドロップアウト電圧を確保できないことがあります。また、ドロップアウト電圧が小さければ電力損失も小さくなるので低消費電力になります。

＜図4＞は標準タイプと LDO タイプの出力部の内部ブロック例です。両者では入出力にまたがるトランジスタ(パストランジスタ)の使い方に違いがあり、標準タイプはNPN トランジスタのエミッタを出力(エミッタフォロワ)としているのに対して LDO タイプでは PNP トランジスタのコレクタから出力しています。こうすることで小さなドロップアウト電圧での動作が可能になるのですが、実はこのことが負帰還の特性にも違いをもたらすため、LDO タイプは標準タイプに比べて負帰還の安定範囲が狭く発振しやすくなります。このため、LDO タイプは出力に接続するコンデンサの容量や ESR(等価直列抵抗)等に注意が必要です。具体的はメーカや品種それに出力電流や負荷端に接続されるコンデンサの種類などによって安定性が異なるので、使用に際してはデータシートの指定に従うと共に、実装後は発振有無や過渡応答確認など安定性が異なるので、使用に際してはデータシートの指定に従うと共に、実装後は発振有無や過渡応答確認など安定性をチェックしてください。なお、標準タイプなら発振の危険が無いというわけではなく、LDO タイプ同様に指定されたコンデンサを入出力の直近に接続する必要があることに変わりありません。

図4：3端子レギュレータの内部回路構成
上が標準タイプ、下は LDO タイプ(出力部)

予期せぬ出来事

■外部からの異常対策

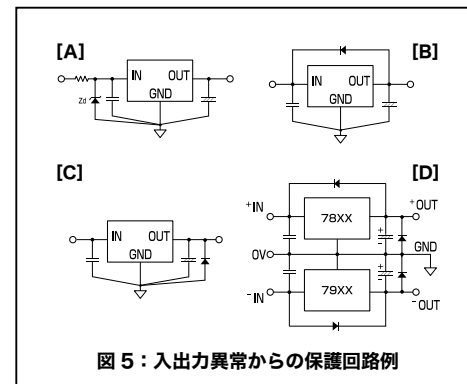
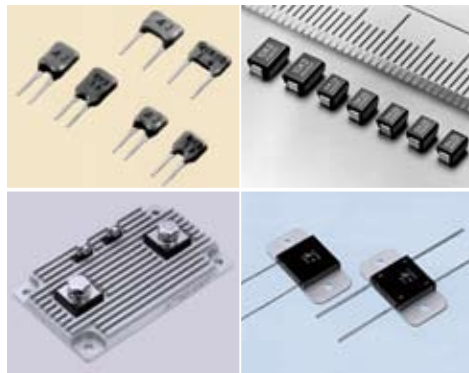
入出力のコンデンサ以外に注意することはありますか。

3端子レギュレータは簡単に安心して使えるのがメリットですが、放熱などパワーデバイスとしての注意事項は守らなければなりません。また、入力や出力に異常な電圧が加わるなどの事態が予想される場合は IC の保護対策が必要です。＜図5＞A～D にその例を示します。A は入力に一時的な高電圧が加わる恐れのある場合の対策で入力に抵抗とツェナーダイオードを付加します。B は出力電圧が入力よりも高くなる場合の対策です。

何らかの原因で入力電圧が急低下した場合、出力には大容量のコンデンサが接続されているために電圧が維持され、一時的に入力よりも出力の方が高電圧になることがあります。同様に複数の電源からなる回路の場合も他の電源から電源供給される形になって出力電圧が入力より高くなる可能性があります。したがって複数電源の場合は各々に B の保護ダイオードを付けておく必要があります。C は出力がゼロを超えて負まで振れる場合の保護回路です。インダクタンス負荷などの駆動回路で必要になります。D はオペアンプなどで正負2電源とする場合の保護例です。マイナス側の電源がわずかに速く立ち上がった場合にプラス側の出力が負電圧になって立ち上がらなくなることを防止するためのもので、B と C を組み合わせた形になっています。

図5：入出力異常からの保護回路例

その27 精密抵抗器編

＜取材協力：アルファ・エレクトロニクス㈱＞

何に使う

■精密抵抗器の用途

どんなときに必要になりますか。

回路設計で抵抗器に高い精度が求められるのは、抵抗器の持つ高い精度を利用して回路全体を高精度なものしたい場合です。例えば、抵抗器の両端電圧から抵抗器を流れる電流の大きさが求まりますが、電子回路では電圧を精度良く測ることは比較的簡単ですので、値の確かな抵抗器を併用すれば電流の値を正確に知ることができます。また、検出電圧が一定になるように回路を制御すれば高精度な電流源になります。数ある電流検出用の抵抗器(シャント抵抗器)の中で精密なものは理化学実験や半導体製造装置などに用いる精密電源、精密工作機械や自動車などのモータ電流検出などに使われています。いっぽう、工業用途などでは精密な温度測定に際して熱電対と測温抵抗体を用います。ところが、熱電対の出力電圧は1℃当たり約40μV程度(K型熱電対)ですし、測温抵抗体も1℃の温度変化により約0.4%(白金)の抵抗変化しかありません。このためブリッジ回路を形成して高い検出感度を得るようにするのが一般的です。その場合、ブリッジの各辺を構成する抵抗器には熱電対や温抵抗体のわずかな変化を検出できる極めて高い精度が求められます。また、オペアンプ回路などでは抵抗の値で回路の利得などの特性が決まるため、電子計測器など高精度な電子回路には高精度な抵抗器が必要です。因みに、電子回路では複数の抵抗間の抵抗値の比が重要なことがあります。その場合は各抵抗の温度係数などが揃っていることが重要であり、値そのものはあまり問題になりません。

精度と確度

■絶対値と安定度

精密抵抗器は値が正確なんですよね。

抵抗器は製造段階でトリミングなどの手法によって抵抗値を特定の値に合わせ込むことができます。値の正確な抵抗器を作ることが可能なわけですが、値を合わせ込んだ抵抗器が即ち精密抵抗器というわけではありません。実際に抵抗器が使われるときの抵抗値は使用環境等によって変動するので、精密抵抗であるためには正確な値を保つ高い安定性と優れた再現性が必須だからです。因みに、抵抗値が変わる要因の中で、最も大きなものは温度です。例えば、炭素皮膜を使った抵抗器の温度係数は100ppm/℃以上になります。言い換えると炭素皮膜では温度が1℃変わっただけで抵抗は0.1%以上も変化してしまうので、精密抵抗器にはなり得ません。

超精密の世界

■種類と構造

精密抵抗器は他の抵抗とどこが違うんですか。

精密抵抗器には、ここからが精密といった明確な境界はありません。ただ、許容差が小さく安定していなければならないことから、精密抵抗器と呼ばれるものの多くは温度係数が小さい金属系の材料を使っています。
＜図１＞に金属被膜、巻き線、金属箔の３種について、大まかな使い分けを示しました。金属被膜抵抗器はセラミックなどの母材に蒸着あるいは焼結させた金属被膜に溝を切って作ります。ポピュラーな抵抗器ですので許容差1%クラスのものは多くの人が汎用的に使っています。巻き線抵抗器はハイパワーな用途で使う一般用（ホウロウ抵抗など)以外に、材料や巻き線方法を工夫した精密用のものがあります。金属被膜などに比べ温度係数が小さいのが特長ですが、微調整が難しいため許容差に限界があるのと巻き線構造であることから高精度が得られる周波数に限界があります。これに対して金属箔抵抗は、許容差も温度係数も他より圧倒的に小さくなっています。経年変化等も小さく、超精密と呼ぶべき抵抗器です。
＜図２＞に温度特性の一例を掲げましたが、1ppm/℃仕様のものでも実力としては0.1ppm/℃程度であることがわかります。金属箔抵抗は、価格が高いのが欠点とされていますが、ひとつの回路に大量に使用するというチャンスは少ないでしょう。

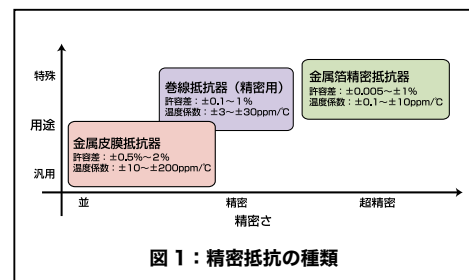



図１：精密抵抗の種類

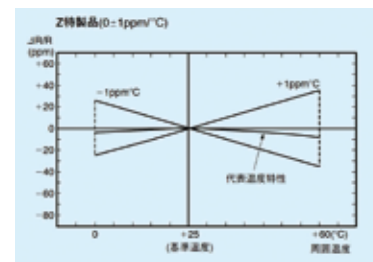
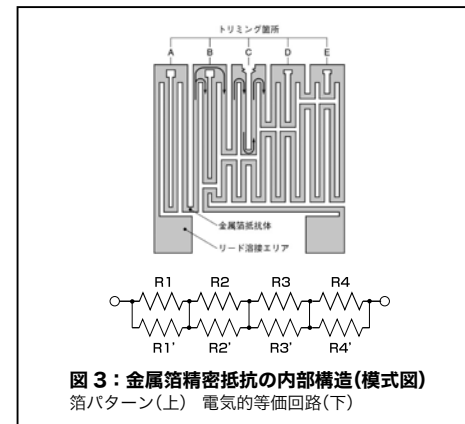



図２：金属箔精密抵抗器の特性例（温度特性）

＜図３＞は金属箔抵抗器の内部構造です。温度係数が調整された数μｍ厚の金属箔(Metal Foil)をセラミックなどの母材に貼り付け、エッチングによって抵抗網としてパターン成形します。回路的には値が順に重み付けされた抵抗が直並列されたものになっています。成形を終えた抵抗はバーンインの後、ひとつひとつ抵抗値を測定し並列に接続されている抵抗パターンをレーザまたは人手によってトリミングして抵抗値を合わせ込みます。パターン（抵抗の段数）を詳細にすることで微細な合わせ込みができます。

図３：金属箔精密抵抗の内部構造（模式図）
箔パターン（上）　電気的等価回路（下）

超精密を活かす

■精度の維持と管理

精密抵抗器を使ううえでの心得はありますか。

精密抵抗器は使い方が重要です。抵抗値以外の要素で精度が左右されないような回路にしたり、自己発熱に対する十分なディレーティングが必要なことはもちろんですが、実装にも気を配る必要があります。低抵抗の場合は４端子接続として配線部分の抵抗等が影響しないようにします＜図４＞。実装場所も温度変化が小さいところを選びます。実装部分に温度差（温度の傾斜）があると起電力を生じる可能性があるので注意してください。比較的高い周波数で使う場合は周波数特性も要チェックです。回路のインピーダンスにもよりますが実装部分を含め＜図５＞のような特性となることを承知してください。高感度な用途ではノイズ特性なども考慮します。ほかにも経年変化や耐熱サージ、湿度に対する応答や再現性などについても十分な考察が必要ですので超精密が要求される場合はメーカに相談してください。

図４：２端子(左)と４端子接続(右)
シャント抵抗器 SMD 編参照

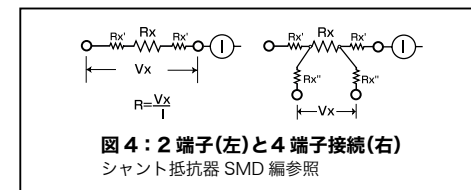



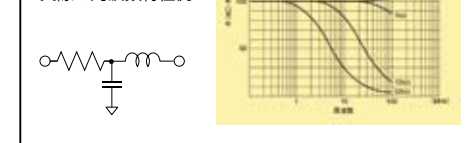
図５：高域特性
等価回路(下)
実際の周波数特性例

なお、電子部品としてではなく社内や実験室内の標準器として精密抵抗を設備する必要が生じることもあるでしょう。その場合は「標準抵抗器」として提供されているものを使います＜図６＞。標準抵抗器は他のリファレンスになるものですから、値や不確かさが上位の標準によって定期的に校正され、国家標準とトレーサビリティが保たれている必要があります。

図６：標準抵抗器の例

その28 ディスプレイ付きスイッチ編 ＜取材協力：日本開閉器工業㈱＞

スイッチとサイン

■スイッチが持つ機能

ランプが点くスイッチとかはよく見かけます。

スイッチには回路のオンオフや信号の切り換えなどの基本機能のほかに「何がどのような状態にあるかを表示する」という役目があります。例えば電源スイッチはレバーなどのポジションによって機器が動作状態にあるか否かを示しています。その場合、スイッチだけでは表現できないので、パネルに ON や OFF、切り換えスイッチであれば INPUT A/INPUT B などと書いたりするわけです。

工業計器などではスイッチのボタンに「主電源」ですとか「系統 1 ポンプ電源」などの表示を彫刻したりラベルを差し込んで使われたりします。また、工場の生産ラインなどではスイッチの開閉による機器やシステムの状態をより分かりやすく表示するためにはスイッチに連動した表示ランプやサイン灯が用いられますが、ラック搭載のパネル機器や操作卓ではスイッチ自体に状態表示機能を持たせた照光式スイッチがよく用いられています。最近ではスイッチの操作に連動して色と表示が変わるものなどもあります＜図 1 ＞。

図 1：照光式スイッチの例
発光色に応じて表示が変わるもの(右)もある。

表示器がスイッチでスイッチが表示器

■スイッチとディスプレイの相乗効果

ラベルなどに対するメリットは何ですか。

ディスプレイ付きスイッチは、スイッチに求められる表示機能をさらに一歩進めたもので、ディスプレイとしての性格をより強く持った複合部品です。押しボタンスイッチのボタン部分(キートップ)に小型のディスプレイが取り付けられています＜図 2 ＞。

近年のディスプレイ性能の向上に合わせ表示能力が急速に高まり、単色の液晶から有機 EL を使ったカラー表示のものまで製品も充実してきました＜図 3 ＞。ディスプレイとして見た場合の画面サイズはスイッチのサイズに限定されるので 0.5 〜 0.6 インチ程度と小さくなりますが、ドットの精細度が向上し、細かな文字や画像なども表示できます。表示データは外部から取り込むので、表示内容をいつでも自由に変更できることがディスプレイ付きスイッチの大きな特徴です。スイッチがディスプレイ化することで機能が高まり使われるシーンが拡大しています。

図 2：スイッチが表示器になる

図 3：ディスプレイ付きスイッチの製品例

個性的な機能を活かす

■製品動向とアプリケーション

タッチパネルとは違うのですか。

電子機器の機能が高度化・複雑化するに連れて設定や操作法が細分化され必要なスイッチの数が増えるいっぽうで、機器の小型化が進みパネルに配置できるスイッチの数は制限される方向にあります。その結果、ひとつのスイッチに何通りもの機能を割り当てるといったことも必要になってきました。こうした要求を満たす手段のひとつがタッチパネルで、銀行の ATM や FA のパネルコンピュータをはじめ各所で使われています。しかしながら、タッチパネルは表示性には優れるものの大きな画面を必要とし、確実な操作感に欠けるため使えるシーンには限りがあります。これを補うのがディスプレイ付きスイッチです。応用例としては、放送・音響機器、業務用調理器、食券などの発券機、ビルなどの防災や照明管理システム、交通管制システム、物流機器(倉庫管理)、金融システム、教育機器などが挙げられます。例えば、＜図 4 ＞のような放送スタジオのコンソール / スイッチャーや為替取引を行うディーリングマシンでは大量のスイッチが並び、個々のスイッチが「何」のスイッチなのか、そのスイッチはどのような設定状態にあるのかを瞬時に把握し操作する必要があります。

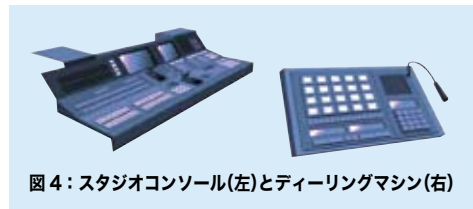



図 4：スタジオコンソール(左)とディーリングマシン(右)

その場合、ディスプレイ付きスイッチのようにスイッチ自身が明確な表示体であれば操作の確実性が高まるわけです。さらに、機器の設定状態に合わせ表示を随時変更することで、ひとつのスイッチに複数の機能を割り当てることが可能になりスイッチ数を削減できます。また、オペレーターの使用言語に合わせて表示を換えるといったこともできます。表示内容も、単にスイッチの機能だけでなく ON AIR/ 運転中などシステムの状態表示や異常発生などの警報表示、さらにカメラ画像の簡易モニタなどとしての利用法も考えられます。

図 5：内部構造

スイッチ接点と表示部は独立

■構造と設計

中身はどんな仕組みになっているのですか。

ディスプレイ付きスイッチは小型の押しボタンスイッチの上にディスプレイユニットを載せたものと考えて差し支えありません。スイッチ部分とディスプレイは電気的に独立しており、別のアイテムとして扱えます。表示部の構成はタイプにより異なりますが、最近の製品ではコントローラとメモリーを内蔵しデータをメモリに取り込んで表示し続ける仕組みになっています。機械的には押しボタンの可動部とディスプレイは一体化されており、ボタンを押せばディスプレイも沈み込むようになっています＜図 5 ＞。これはボタン位置によってディスプレイの視野が変わるのを避けるためです。

サポートツールで簡単作成

■画像の作成と実装

本格的ディスプレイだとすると設計が難しそうです。

表示サイズは 64 × 48 ドットなど小さいので画像データとして考えた場合に生成・転送する量はわずかです。インタフェースは SPI など汎用のシリアルインタフェースを採用した製品もあり、マイコン等との接続も容易です＜図 6 ＞。画像データの作成には専用のツールがサポートされているのでこれを利用すれば簡単でデジタルカメラなどで撮影した画像を変換して取り込むこともできます。画像を連続して転送すれば動画やアニメーションも可能です。実装に際してはディスプレイ部の耐熱性を考慮する必要がありますが専用のソケットを使う手もあります＜図 7 ＞。

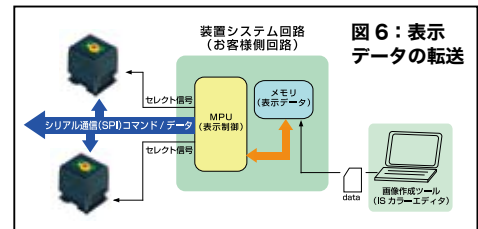
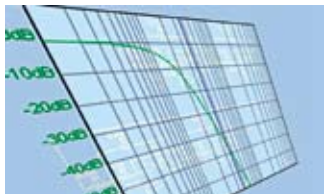



図 6：表示データの転送

図 7：画像作成ツール例 (右は専用ソケット)

その29 CRアクティブフィルタ編

<取材協力：㈱エヌエフ回路設計ブロック>

機能はシンプルだが

■フィルタの種類と用途

CR アクティブとは何のことですか。

フィルタの機能は、決められた周波数範囲にある信号は通過させ他は阻止することで、通す範囲によりローパス、ハイパス、バンドパス、バンドエリミネーション(Elimination)などのフィルタがあります。周波数成分が入り交じった信号の中から特定の信号だけを取り出したりノイズや不要な信号を取り除いたりすることを目的に、低周波から高周波まで広く使われています。フィルタを構成する手段は様々で、用途に応じて使い分けます。通信機器など主に高周波用途ではコイルとコンデンサで構成する LC フィルタ、圧電素子を利用するセラミックフィルタ､水晶フィルタ､表面弾性波（SAW）フィルタなどが用いられます。一方、音響機器や振動計測などの低周波回路ではデジタルフィルタや今回採り上げる CR アクティブフィルタなどが使われます。デジタルフィルタは入力のアナログ信号をデジタルに変換してデジタル演算によってフィルタ処理します。様々な特性を自在に実現できますが、構成が複雑になるためオーディオ装置などの用途に限られます。これに対して CR アクティブフィルタは CR つまりコンデンサ [C] と抵抗 [R] それにオペアンプで構成されるアナログ電子回路です。CR アクティブフィルタのアクティブとは、CR などの受動(Passive)部品の他に能動(Active)部品であるオペアンプを使うことを意味しています。なお、類似するものにスイッチドキャパシタフィルタがありますが、CR アクティブフィルタとは動作原理が異なります。

図 1：CR アクティブフィルタの製品例
上の 2 品は基板に実装して使うモジュール
右上はベンチ 2 チャネル機
右下はラック組み込みの多チャネル製品

作るか使うか

■製品としてのフィルタ

フィルタは設計が難しそうで面倒です。

CR アクティブフィルタは電子回路の一部として機器内部で多数使われます。典型的なアナログ回路であり様々な回路形式が考案されています。設計法も確立されていますが、何れも多段構成の複雑な回路となるうえ、伝達関数やオペアンプの帯域との関係などについての理解を必要とします。その意味では設計が簡単とは言えないかもしれません。
こうした負担を軽減するため、回路機能のほとんどをモジュール化した製品も出回っています。モジュールでは例えば遮断周波数を決めるための抵抗を外付けするだけで所望するフィルタ特性が得られるようになっています。
一方、音響や機械振動の実験現場などでは計測・解析信号を分離やノイズ除去のために装置として出来上がったフィルタを必要とすることが少なくありません。こうした目的のためにはベンチトップやラック組み込みタイプのフィルタがあります。実験や計測に用いるため、多くは遮断周波数をダイヤルで任意に設定でき、100 を超えるチャネル数に対応できるものもあります。<図 1 >

特性の表現と理解

■用語とその意味

用語が色々あってよく分かりません。

主なフィルタ用語を<図 2 >に示しました。現実のフィルタは特定の周波数を境に完全に通過あるいは遮断されるわけではなく、通過域から減衰域へと滑らかに移行します。このため、遮断周波数は一般に -3dB 点で定義されますが急峻なフィルタ等では他の方法で定義する場合もあります。減衰傾度はフィルタの " 切れ味 " の指標で単位は [dB/oct] つまり周波数を 2 倍したとき通過利得が何 dB 変わるのかを表します(周波数変化を 10 倍として [dB/dec] で表現される場合もある)。関連して「次数」もよく使う用語です。特性を表す伝達関数の次数なのですがフィルタを使う立場からは 1 次あたり 6dB/oct もしくは 20dB/dec と憶えておくと役に立ちます。<図 3 >

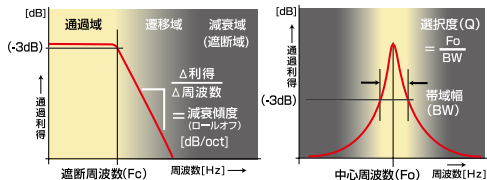



図 2：フィルタの用語と意味

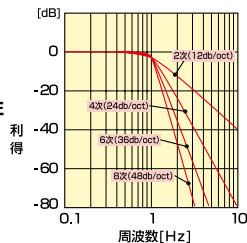



図 3：次数と減衰特性（バタワースの例）

フィルタを選択する際には遮断周波数 (中心周波数) と減衰傾度(次数)の他に減衰カーブの名称と特性を知っておく必要があります。<図 4 >に 4 次の場合について主要なものを掲げました。この場合、周波数特性の他にステップ応答も併せて考えることが重要です。例えば、バタワース特性は通過域が平坦で最もよく使われますが、方形波を入力した際の波形はオーバシュートを伴います。したがってパルス波形などに対しては振幅特性がやや甘くなるものの オーバシュートを押さえたベッセル特性のフィルタが適します。同様にチェビシェフ(Chebyshev)特性は減衰特性に優れますが、通過域にわずかなリップル(周波数特性のうねり)があり、連立チェビシェフ(Elliptic とも呼ばれる）特性は遮断周波数付近の特性はさらに急峻ですが、遷移域に跳ね返りがあるという具合です。どちらを使うかは通過させたい信号と阻止したい信号の周波数とレベル分布から判断します。

メリット / デメリット

■扱いのコツと注意

デメリットとか注意点とかはありませんか。

CR アクティブフィルタは CR とオペアンプで構成されるのでメリット / デメリットもそれらを反映しています。例えば入力インピーダンスが高く、出力インピーダンスは低い回路にできるので、入力や出力に接続する相手方のインピーダンスをさほど気にせずに使えます。このことは、他の例えば LC フィルタなどが入出力共にインピーダンス整合しないと所定の特性が得られないのと比べて大きなメリットです。設計面では周波数の変更が抵抗やコンデンサなど入手性の良い部品の値を変えるだけで比較的簡単に済むのもメリットです。一方、オペアンプを使うことから使用できる周波数の範囲には限りがあります。実質的上限は 10MHz 程度までです。扱う信号の大きさ (電圧範囲) も電子回路として正常に動作する範囲に限られるのでレベルの大きな信号を扱う場合は飽和に注意してください。反対に、微小レベルの信号を対象にする場合にはオペアンプ内部で発生する雑音を考慮する必要があります。

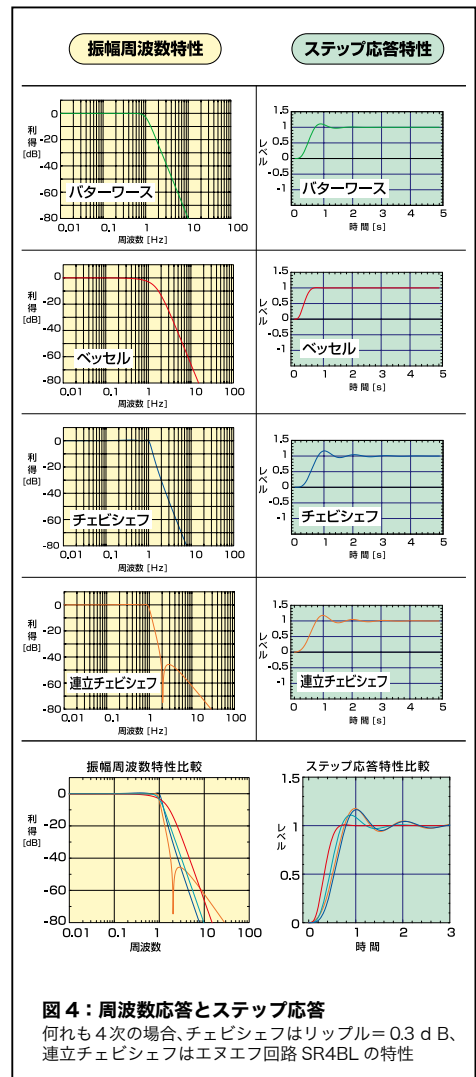



図 4：周波数応答とステップ応答
何れも 4 次の場合、チェビシェフはリップル＝ 0.3 ｄ B、連立チェビシェフはエヌエフ回路 SR4BL の特性

その30 オンボード/ユニット電源編【前編】 <取材協力：コーセル㈱>

ブラックボックス

■完成された設計の入手

電源くらい自分で設計できないとマズイですよね。

道路や電気･ガスなどのインフラ(Infrastructure)が整っていない社会は不安定であるように、電源設計がシッカリしていない機器は信頼性を欠きます。電子機器にとって電源は基本であるわけですが、システムや回路の設計者にとっては機器に与えられた本来機能を実現のための回路設計が主眼であり、電源をその都度設計するのは大きな負担であることも確かです。もし、電源を完成された設計として入手でき、ブラックボックスとして扱えるとすれば回路設計もパターン設計もずいぶんと楽になるはずです。電源を1個の部品として扱えるので購買や在庫といった管理サイドの負担も軽減できます。このため、最近の電子機器では完成された電源を利用する例が増えています。

組み込み用に完成された電源には、ラックなどの機器内部に置く独立したユニットタイプのものと、プリント基板上で使うオンボードタイプがあります<図1>。電気的には商用ラインの交流を直流に変換するAC/DCコンバータと、直流を別な電圧に変換するDC/DCコンバータの二種で、AC/DCはユニットタイプ、オンボードではDC/DCが大多数を占めます。使われでは接続形態面では、入出力間が絶縁されているものとグラウンドが共通(非絶縁)のものに分けられ、AC/DCは基本的に絶縁型になりますが、DC/DCでは絶縁と非絶縁の両方があります。非絶縁は回路がシンプルで小型にできるので回路内のPOL(Point of load)として使われるいっぽう、デジタル/アナログ混在のボード、モータやアクチュエータが同居したセット、ノイズが大きな環境などでは絶縁型のDC/DCでグラウンドを分離させるのが有利です。

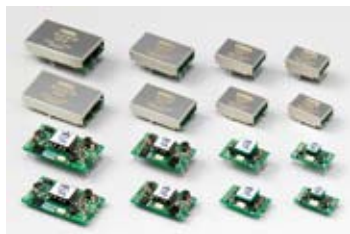



図1：オンボード電源の製品例

基本の選択

■トポロジー

基板の上に基板を載せることになります。

オンボード用の電源にはケースに収まったものと基板のままのものがあります。コスト面では後者が有利で、ケース入りは安全面やノイズ対策などの面で優れていますが、元々ボード上に実装するものなので、周囲を含むボード全体で考え選びます。 <図2>に使用例を示しました。[A]は基板外にユニットタイプのAC/DCコンバータを置き、オンボードのDC/DCでデジタル用とアナログ用に電源を分けています。モータ駆動等にはAC/DCの出力から分岐させ、ノイズや電源変動がボード上の回路に波及しないようにしています。[B]はクルマやテレコム機器の非常電源などバッテリから電源供給される機器で電子回路を動作させる場合で、この例ではオペアンプ用に正負両極性の電源を得ています。[C]はボード一枚で構成される小型の家電品の例です。一般にAC/DC電源はユニットタイプが使われますが、この例ではオンボードでAC/DC電源を使っています。 同図の下三つは「こんな使い方もできる」という応用例です。[D]は正(プラス)電源から負(マイナス)の電源を得るもの、[E]と[F]は正負両極性(マルチ出力)の電源から2倍の電圧と異なる二つの電圧を得る方法を示しました。

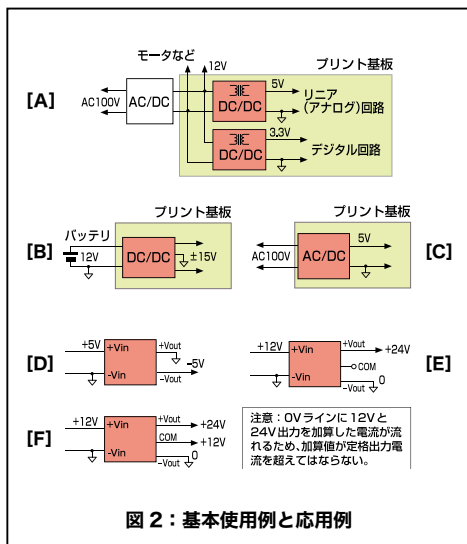



図2：基本使用例と応用例

敵を知る

■負荷の特性把握

選定ではどんなことに注意すればよいですか。

電源の基本仕様は出力電圧と電流です。回路(電源から見た負荷)の要求電圧と電流容量から決定されますが、純粋な抵抗のように常に一定の電流が流れる負荷はむしろ希で、実際の多くはコイルとしての要素を持ったインダクティブな負荷であったり、コンデンサとしての性質を強く持ったキャパシティブな負荷であったりします。これらの負荷では電源の立ち上がりや負荷のオンオフなどに大きな過渡現象を伴うので注意が必要です<図3>。

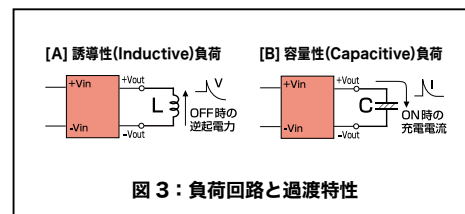



図3：負荷回路と過渡特性

これらでは一時的に過電圧(逆方向電圧)や過電流となって電源が壊れたり保護回路が働いて回路が動作しなかったりと言うことがあるからです。したがって、電源の選定に当たっては負荷回路の特性を把握することが最も基本になります。インダクティブな負荷では負荷がオフ(電流が急減)する際の逆起電力、大容量のコンデンサが並列に接続されているようなキャパシティブな負荷では回路起動時の充電電流を事前に検討してください。

<図4>はインダクティブな負荷の一例で、ブリッジ回路でモータを制御しています。この場合、ブリッジを構成する二組のスイッチが切りかわる際にモータに生じる起電力が電源に加わり電源を破壊する可能性がありますので、電源出力に逆流防止のダイオードを挿入します。

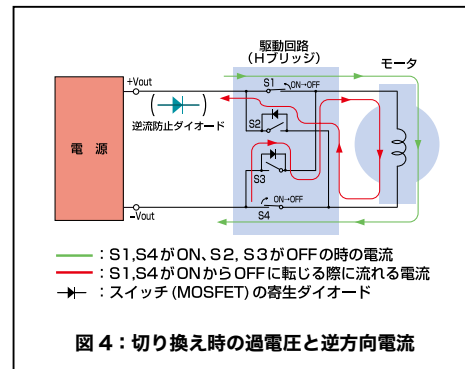



図4：切り換え時の過電圧と逆方向電流

賢く使う

■負荷に適した選定と使用

他にはどんな負荷に注意が必要ですか。

LEDのダイナミック点灯など電流がパルス状になる回路も一考を要します。電源の容量が負荷のピーク電流に対応したものであれば動作上問題はないわけですが、ピーク電流で電源容量を決めるとオーバスペックとなりがちです。ピーク電流に対応した品種もあるほか、ピークがごく短時間(数μs～数ms程度)で若干の電圧低下を許容できるのであれば、電源出力にコンデンサを付け足すことでピーク電流を供給できます<図5>。

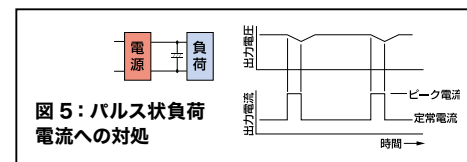



図5：パルス状負荷電流への対処

コンデンサの値はそれぞれの取扱説明書等に従ってください。一方、立ち上がり時に保護回路が働いたままとなって起動できない負荷もあります。電源出力の過電流保護には大きく分けて逆L垂下とフの字垂下の二つの方式がありまが、例えば立ち上がり時に抵抗値が大きく変化するフィラメントランプ(電球)や二次電池(定電流性負荷)に負荷にフの字保護を適用すると、保護が働いたまま安定してしまう事があります<図6>。 ちなみに、AC/DC電源の中には入力側にも突入電流の保護回路が内蔵されているものがあります。サーミスタを使う方式とサイリスタを使う方式の二つがありますが、何れも電源遮断の直後に再投入された場合は、サーミスタが高温になったまま、もしくはサイリスタがオンしたままの可能性があるため突入電流が流れる可能性があることを承知してください<図7>。

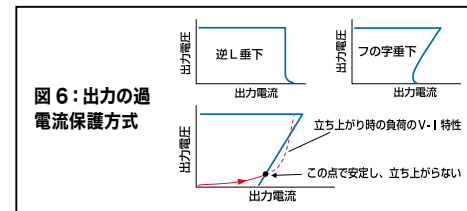
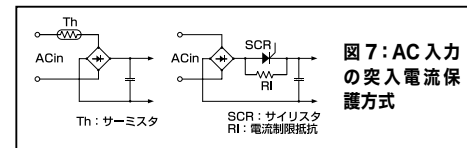



図6：出力の過電流保護方式

図7：AC入力の突入電流保護方式

その31 オンボード/ユニット電源編【後編】＜取材協力：コーセル㈱＞

見えない敵
■ノイズの経路

ノイズトラブルの心配はありませんか。

電源も電子回路ですから、ノイズを全く出さないわけではなく、外部からのノイズにも一切影響されないというわけにはいきません。
さらに、電源の入力は外部とつながることになるので他へのノイズ流出ルートとなるほか外来ノイズの侵入経路にもなります。一方、出力はボード上の各回路に接続されるのでノイズの分配経路になる可能性があるという具合に、電源はノイズに対して考慮しなければならない要素を本質的に多く持っています。市販の電源はノイズに対して様々な配慮が成されているとはいえ使用に当たってはノイズに対する十分な気配りが必要です。
＜図１＞にノイズの発生源と伝搬ルートを示しました。オンボード電源のほとんどはスイッチング方式ですので、内部にスイッチ素子やトランスなど比較的大きなノイズの発生源を持っています。これらで発生したノイズは直接空間に放射されるほか、入出力の配線やグラウンドを通じて伝導します。

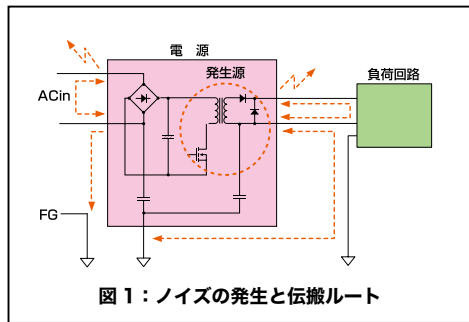



図１：ノイズの発生と伝搬ルート

出さない・入れない
■ EMC 対策

ノイズに対する有効な手だてはありますか。

一般にノイズ対策は「シールディング」「グランディング」「フィルタリング」の三つといわれています。シールディングは、シールド板やノイズ吸収シートなどによる放射性ノイズ対策です。ケース無しのオンボード電源の近傍に感度の高い回路を配置しなければならない時になどに必要です。ちなみにノイズの結合は距離を離すことでも回避できます。言い換えると入出力の配線を近づけたり平

行に配線したりすることは新たなノイズの経路を作ってしまうことになるので厳に戒めなければなりません。
二番目のグランディングは、シッカリとしたアースを確保することを意味します。太く短い配線が決め手です。グラウンドは電源出力の電流帰還ルートでもあるわけですから、大きなループを作らないようにアースポイントと配線経路を決めてください。三つ目のフィルタリングは入出力にフィルタを挿入してノイズを阻止する方法です。AC/DC コンバータでは AC 入力側に専用のノイズフィルタ（ラインフィルタ）を必ず使用します。DC/DC でも入力側に大きなノイズが含まれる場合に対応できるフィルタが製品化されています。出力側に対しては、高周波特性の良いコンデンサの挿入、電源ライン用のノイズフィルタ、コモンモードチョーク、フェライトビーズなどのノイズ対策部品が有効です。ただし、フィルタを使用する際には線間に生じるノーマルモードノイズに対するものなのか出力とグラウンド間に生じるコモンモードノイズに対するものなのかの意識が大切です。例えば＜図２＞の [A] は DC/DC 用の入力フィルタ、[B] は雷などの入力サージに対するサージアブソーバの例ですが、図で赤色で囲ったデバイスはノーマルモード、青色はコモンモードに対してのみ作用し、相対するモードに対しては効き目は期待できません。

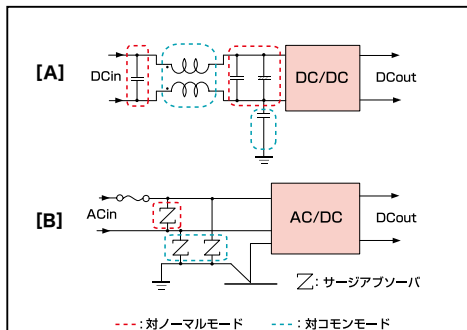



図２：ノイズフィルタ（上）とサージアブソーバ（下）の効果

厳守すべし
■安全対策

安全性とかも大切ですよね。

電源の安全性確保は全てに先立つ優先事項です。特に AC/DC では AC ラインを直接扱うため、絶縁や耐圧などの各種安全規格に則った実装と配線が必須です。端子や配線間の距離（沿面距離）確保や難燃性材料の使用など厳格な設計が求められます。
オンボード電源ではマザー基板と電源の距離が規定された寸法以上になるようにしてください。規定を下回る場合はスペーサを入れるなどして耐圧を確保する必要があります＜図３＞。

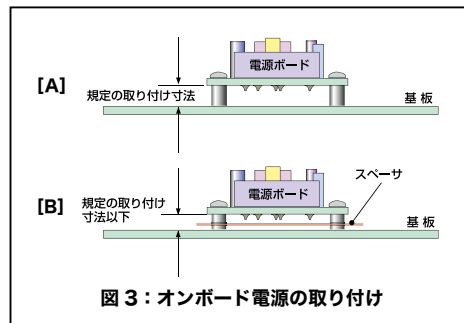



図３：オンボード電源の取り付け

ユニットタイプ（AC/DC）では、ひとつのシステム中で多数電源を使用されることがありますが、筐体を通じてグラウンドに流れる電流は各々のコモンモード用コンデンサに流れる電流の和となるため、漏洩電流が規定を超える恐れがあるので注意してください＜図４＞。

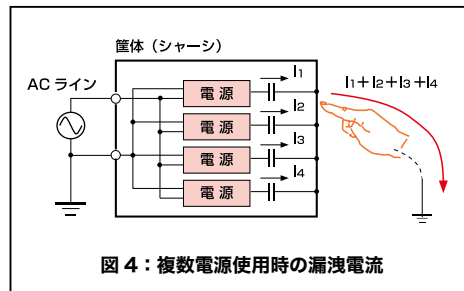



図４：複数電源使用時の漏洩電流

諸行無常
■電解コンデンサ

電源には寿命があるって聞いたのですが。

電源も電子回路ですから、他の電子機器同様に経年変化があります。さらに、電源は発熱を伴うので構成するデバイスの寿命が加速され易い方向にあります。中でも電解コンデンサは経年的使用によって内部の電解質が劣化・蒸発してしまう有寿命部品です＜図５＞。結果的に、電源の寿命は電解コンデンサの寿命に左右されるため、電解コンデンサを使わない長寿命の製品も多くなりました。
レイアウトに際しては温度によって寿命が加速されることを考え電源を高温下に曝されない様にすると共に電源自身の放熱性を高めることも大切です。

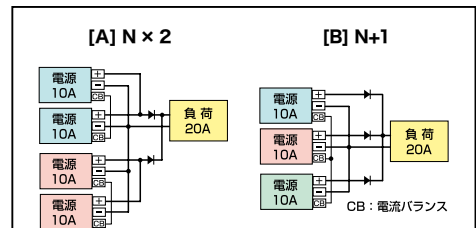
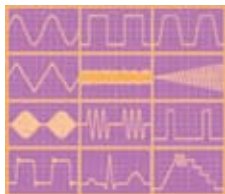
図５：電解コンデンサの使用例

安心と信頼
■高信頼化手法

信頼性を高める方法を教えてください。

電源をシステムとして考えた高信頼化手法のひとつに「冗長運転」があります。＜図６＞にその例を示しました。[A] は「N × 2」、[B] は「N+1」と呼ばれる運転方式です。一見するとパワー不足を補う並列接続のように見えますが、冗長運転は一部が故障した場合に他でパワーが賄える容量を確保するものです。なお、[A] では２台づつ並列運転させていますが、通常の（定電圧）電源を直接的に並列接続することはできません。並列にする場合は電流バランス制御が必要となり専用の端子（CB）を備えた電源が必要です。なお、話がやや逸れますが、出力電圧の精度を増す目的でリモートセンシングする例を見受けますが、リモートセンシングは負帰還のループを外部に引き出すことになるので、制御の安定性はかえって損なわれる可能性があります。

図６：冗長運転

その32 ファンクションジェネレータ編 ＜取材協力：㈱エヌエフ回路設計ブロック＞

信号の源
■計測と信号源

どんなときに使うのですか。

アナログ系の電子回路には例えば発振回路のように自発的に信号を発するものと、アンプのように外部から与えられた信号を受けて応答する受動的なものとがあります。A/D コンバータやエンジンの回転検出といったセンサ応用機器なども後者です。外部信号に応答するタイプの回路や機器では、動作確認や特性評価の際に本来の入力に代わる信号が必要となります。このため、特定のアプリケーション専用や汎用など何れも再現性に優れた計測・試験用の信号源が提供されています。計測用信号源、いわゆる「発振器」には大別して無線機器などのテストに使う高周波用と、メカトロ機器やオーディオ帯の回路などを対象とした低周波用の２種類があります。ファンクションジェネレータ（以下 FG）は超低周波帯からの発振が可能で、電気電子・機械・化学など幅広い分野において低周波の実験・計測用信号源として汎用的に用いられています＜図１＞。

波形を操る
■ DDS 方式

ジェネレータを辞書で引くと「発電機」ですけど。

低周波の測定や評価では、様々な「波形」の信号を必要とします。例えば、アンプの波形ひずみや周波数特性を知るには正弦波信号が必要ですし、過渡応答特性を見るには方形波が便利です。

図 1:ファンクションジェネレータの製品例

直線性を測定する場合にはランプ（直線上昇）波が使われます。これに対して FG は様々な「波形」即ち時間の関数（Function）を自在に発生（Generate）できるのが大きな特長です。FG には、正弦波、方形波、三角波などのいくつもの基本波形が用意されていて、これに DC オフセット（直流電圧重畳）、トリガ / ゲート / バースト（何れも発振の停止 / 再開）、デューティ可変、スイープ（掃引）、さらに各種のアナログ変調などを施すことができ、これらを組み合わせることで様々な波形を生成可能です。

FG の内部はアナログ回路で構成されていた時代もありましたが、現在ではほとんどが DDS（Direct Digital Synthesizer：デジタル直接合成）と呼ばれるデジタル方式のものに置き換わっています。DDS の原理を＜図２＞に示しました。DDS は安定で周波数確度が高く分解能も極めて高くできるほか、周波数の変更や出力のオンオフなどにおいても位相の連続性が保たれる、広範囲な周波数スイープ等が可能、メモリに書き込む波形データを変更することによってオリジナルの波形でも出力できるといった特長があります。

様々な波形という意味で類似したものに ARB（Arbitrary：任意波形発生器）がありますが、ARB が大容量のメモリに特定の信号をその都度書き込んで読み出すため用途が限られ高価となるのに対して、DDS は比較的小容量のメモリに波形を書いておき機能の組み合わせで応用的な波形を創り出せる自由度に優れ、ARB よりもローコストであることも含め汎用信号源に適した方式です。

DDS は、波形 ROM、位相アキュムレータ (加算器とラッチ) および D/A コンバータで構成される。アキュムレータはクロックに同期して周波数設定値 [N] ずつ積算していくことで周波数設定値に比例した速度で増大するデジタルデータを出力する。このデータは、出力波形の位相に相当し、波形 ROM の読み出しアドレスになる。ROM の出力を D/A コンバータでアナログ信号に変換すれば設定した周波数・波形のアナログ信号が得られる。

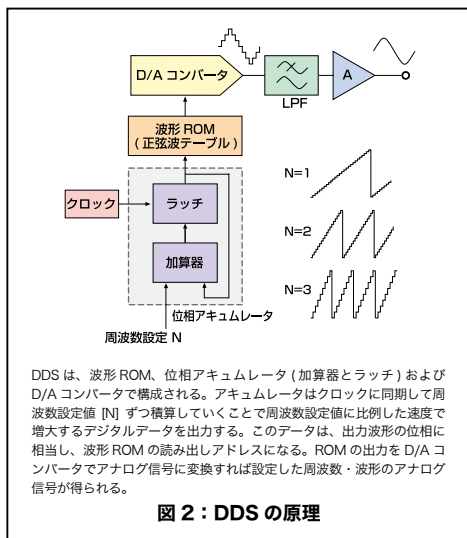



図 2：DDS の原理

波形を読む眼力
■操作上の注意点

操作は難しくありませんか。

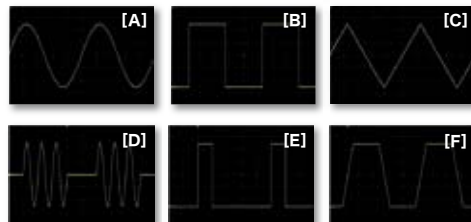
FG はアナライザ（信号解析用測定器）と異なり、信号を出すというシンプルな機能の測定器ですので設定や操作は簡単です。一定した連続信号を出力するのであれば、波形を選んで周波数と振幅を設定するだけで済みます。スイープやトリガなどは連続信号に加工を加えるという手順を踏むと考えると分かりやすいでしょう＜図３＞。

[A][B][C] は正弦波、方形波、ランプ（三角）波の連続、[D] は正弦波のバースト、[E] は方形波のデューティ可変、[F] は方形波の立ち上がり / 下がり可変で得られる信号波形。

図 3：基本的波形例

P 実際には設定や操作よりもむしろ出力した信号の認識や観測法を誤ることがあるようです。例えば出力電圧を 50 Ω負荷で 1Vp-p（peak-to-peak）に設定した場合、入力インピーダンスが高い回路に接続したときの出力は 1V ではなく 2Vp-p になります＜図４＞。

さらに、正弦波出力の場合 1Vp-p は実効値で 0.35Vrms（= Vp-p ÷（2 √ 2））になりますが、正弦波以外ではこの関係は成立しません。なお、DC オフセットする場合は波形のピークとオフセットを加えた値が最大出力電圧を超えることはできません。正弦波以外では波形に多くの高調波成分が含まれますので波形確認の際には測定器の周波数帯域が高調波をカバーすることを確認してください。周波数帯域が不足していると実際に出力されている波形が鈍ったりゆがんでいるように見えてしまいます。周波数が高い場合にはインピーダンスマッチングも必須です。その際の終端は負荷端で行います。いっぽう低周波の方形波等をモニタする際にうっかりしてオシロスコープを AC カップルにすると、波形にサグ（平坦部が斜めになる）が出てしまいます。何れも初歩的な事柄なのですが、FG あるいはオシロスコープの表示だけを過信することで起こしやすいミスでもあります。

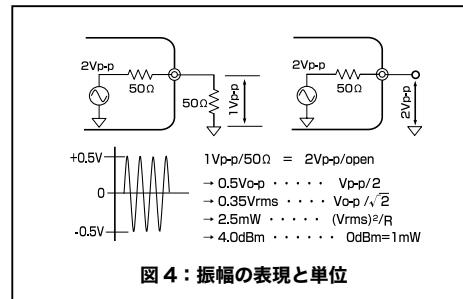



図 4：振幅の表現と単位

アイデア次第
■応用機能

多機能なので色々に応用できそうです。

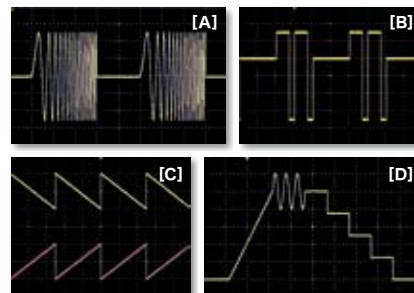
最近の FG は高機能化が進み、かなり複雑な波形も出力できます。DDS では任意の波形を基本波形として扱えるので、例えば心電波形を書き込んでおいて、ゲート発振させるといったことも可能です。＜図５＞は予め内蔵されている波形を使った応用例です。[A] は周波数スイープとゲート機能を組み合わせたもの、[B] は方形波のトリガ発振に発振停止レベル設定を加えて３値のデジタル信号を生成したものです。[C] は２チャネル出力の FG で相互の出力が逆相となるようにしたときの波形で、両者の出力間から出力を得れば２倍の出力電圧が得られ、出力がフローティング（グラウンドから絶縁）された FG であれば片側が接地された負荷にも接続できます。[D] は任意波形で作った信号のように見えるかもしれませんが、波形の各部分は内蔵波形で構成されており、それぞれの波形や周波数・振幅・持続時間などを予め本体内にプログラムしておき順次実行していく「シーケンス機能」を使って出力した信号の例です。シーケンス機能は機器の振動試験や回路の電源変動試験用の信号生成などに便利です。

図 5：応用波形例

テック君の豆知識

今さら聞けないあんな質問、こんな質問

その33 ニッパ・ラジオペンチ編

＜取材協力：フジ矢㈱＞

ものづくりのベーシックツール

■種類と用途

ペンチとラジオペンチは何が違うのですか。

ニッパやペンチは屋内配線工事や微細なメカニックの組み立てなど様々な分野で使用される汎用工具ですが、エレクトロニクスにとっても欠かせない工具です。電子機器やプリント板などの組み立て配線や測定の際には半田ゴテと共にラジオペンチとニッパが欠かせません。ニッパはリード線や部品リードの切断、ラジオペンチは切断の他に部品やリードを掴んだり折り曲げたりするのに使うわけですが、最近の電子機器は小型化・微細化が進んでいるため、工具も精密なものが多く使われる傾向にあります。
因みに、いわゆるペンチとラジオペンチとに明確な定義の違いはありません。ペンチは強電など比較的太い線材などを扱うためのものであるのに対して、ラジオペンチは弱電での細いリードや部品を扱うことを想定しているため、先端形状が細くなっています。なお、部品やリードを摘んだり挟んだりするだけを目的としたものはリードペンチと呼ばれます。

ひとつひとつに理由がある

■選定と構造

種類がたくさんあって、選ぶのに迷います。

ラジオペンチやニッパは形状やサイズが JIS で規定されていますが、エンジニアが日常的に使う工具であることから「コダワリ」を持って選定･使用するプロフェッショナルがたくさんおり、製品のバリエーションは豊富です＜図１＞。選定に当たっては対象とする相手の材料（材質）や大きさ、線材では材質と太さ（線径）が選定の出発点になります。そのうえで手に馴染むか否かでサイズやグリップの材質や形状を選ぶと良いでしょう。刃の劣化が少ない超硬刃を付けた製品やグリップも成型したものや二重にしたものなどがあります。なお、ニッパやペンチのサイズは「呼び寸」で言い表すのが普通です。呼び寸は基本的に全長を表しますが、実用上の呼称であって実際の寸法を表示するものではないので注意してください。また、工具毎に切断できる線材の太さに制限があります。これらはカタログに記載されていますので選定の際は必ず参照してください＜図２＞。 切断部の刃の断面形状と合わせ面の違いについても知っておきましょう。例えば、ペンチの刃の部分とニッパの刃では断面形状が異なります。ペンチや両刃のニッパは比較的太い線を切断するので、刃が厚く頑丈になるように両刃になっています。これに対して片刃のニッパでは細い線を正確に切れるように刃が薄く刃の外に切り残しが出ないような形状をしています＜図３＞。樹脂成型品の切り離しなどに用いるプラスチックニッパでは切る対象物の形によってストレート刃とラウンド刃を使い分けることもあります。また、刃の合わせ面を子細に見ると、ペンチは力が逃げにくいように刃がかみ合わせの内側から合わさっていくのに対して、ニッパでは先端から刃が合わさっていくようにしてあるのが分かります。

図１：ニッパとラジオペンチの製品例

左から標準的なニッパ、同ラジオペンチ、リードペンチ、 右の二つは精密作業用のリードペンチとニッパ

No.60-125,150
No.60S-125,150

No.	SIZE mm	a	b	c	d	e	i	重量	切断能力 [illegible]	切断能力 [illegible]
60-125	125	130	14	8.5	51	17.5	23	85	φ1.2	φ2.0
60-150	150	152	16.1	10	53	21.2	23	115	φ1.6	φ2.6
60S-125	125	130	14	8.5	51	17.5	23	80	φ1.2	φ2.0
60S-150	150	152	16.1	10	53	21.2	23	110	φ1.6	φ2.6

●刃部硬度HRC:57〜61

図２：カタログ記載例

従って線材を切断する際には、ペンチでは中心に近い位置、ニッパでは先端部を用いるのが適しています。一方、掴む部分について見ると、電工用など大型のペンチでは大きなものを強い力で掴むので、握りしめても先端部は若干のスキ間が空いたままになるようにしてあるのに対して、ラジオペンチやリードペンチでは細かな部品を掴みやすいように先端部が先に接触します。

図３：刃の断面形状が違う例

職人の技

■製造工程

よく眺めると、どちらも複雑なカタチをしていますね。

ペンチやニッパは精巧な刃物である一方で手の力がきちんと刃に伝わり余分な歪みや撓み（たわみ）があってはならないという強靭さも必要とします。材料はステンレスなども用いたものもありますが、精密さと強靭さを満たす必要があることから、多くは鉄の鍛造（たんぞう）品です。鍛造は焼いた鉄を叩いて強く緻密に成型していく製法で、日本刀の刀鍛冶が鉄を打って作るのと原理は同じです。ペンチやニッパでは型鍛造といって強力な金型を使いますが、溶けた鉄を型に流し込む鋳物（いもの：鋳造品）とは異なります。因みに、製品になるまでにはかみ合わせ部の座繰りや刃付け加工など 60 以上の工程を経ます＜図４＞。

刃物の心得

■取り扱いとメインテナンス

プロの使う道具は取り扱いもシビアなのでは？

ペンチやニッパは精密な刃物であるという認識は持って欲しいものです。例えば、ペンチをハンマー代わりにして硬いものを打ち付けたりするのは禁物です。当然ながら、定められた材質より硬い材料や太い線を切るのも避けなければなりません。
意外にやってしまいがちなのが線材を切る際にペンチやニッパをこじる（ひねりながら切る）ことです。こじりながら切ると刃に横向きの力が加わるため刃こぼれやガタツキの原因になります＜図５＞。

図５：こじりながらの切断は刃こぼれのもと

刃は垂直に当て一気に切るようにしてください。 なお、ビニル線などの被覆を剥くのにペンチやニッパを使うことがありますが、芯線を傷つけやすいので注意してください。ペンチやニッパによる被覆の剥離は簡易的なものと考え、信頼性を要求される作業にはワイヤストリッパなどの専用工具を用いることが推奨されます。
作業安全の面からは、活線（電源の入った状態）で作業してはなりません。グリップの絶縁をあてにして活線を切ったり挟んだりする例を見かけますが極めて危険です。弱電でも回路や部品同士をショートして壊してしまう危険があります。日常のメインテナンスとしては鉄製品であることから作業後は油を含ませたウエスで拭くといった心がけが長持ちのコツです。日常的に使う道具ですので大切に扱いたいものです。

図４：鍛造後のニッパ製造工程

その34 同軸コネクタ編【前編】

＜取材協力：ユウエツ精機㈱＞

名前と顔の一致

■コネクタの種類

似たような名称のコネクタがありますが。

同軸コネクタは同軸ケーブル専用のコネクタです。主に高周波信号の伝送用ケーブルとして無線通信機器や放送機器、ネットワーク機器、電子計測器などに用いられる同軸ケーブルは用途によって多くの種類があります。接続に際しては各ケーブルに合致したコネクタが必要となるため、ケーブルの種類に対応した数のコネクタが存在することになります＜図１＞。言い換えると、同軸コネクタは、使用する同軸ケーブルに合致したものを使うことが前提です。 また、接続に際しては接続する側とされる側で２種類のコネクタが要りますし、ケーブルどうしを接続する場合とケーブルを機器のパネルやプリント基板に接続する場合とでは使用するコネクタも異なります。製品としてはさらにケーブルをはんだ付けするのか圧着するのかといった部分にも違いがありますので品種も多いわけです。同軸コネクタには BNC や SMA といった系列(シリーズ)があります。

各名称は例えば N は Paul Neill（個人名)、BNC は Bayonet Neill Concelman、SMA は Subminiature type A などそれぞれが誕生した背景で異なり統一されていません（異説もある)。とはいえ、同軸コネクタの主な電気的機械的仕様は IEC や MIL などの公的機関で規格として定められており、接続特性が保証されているので安心して使うことができます。

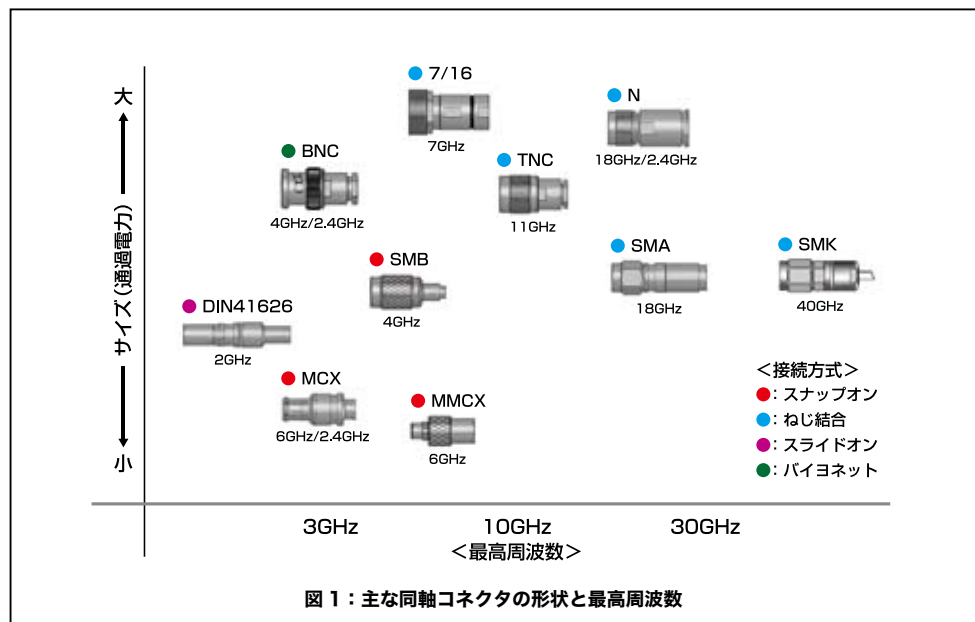



図１：主な同軸コネクタの形状と最高周波数

周波数、電力、対環境性

■基本的な選択

ケーブルが決まれば、使用するコネクタも決まりますか。

同軸ケーブルと同軸コネクタは１対１に対応しているわけではありませんが、コネクタは、使用するケーブルに合致したものを使うというのが前提ですから、基本的にはケーブルが決まれば、後は接続方法等で使用するコネクタも決まることになります。

では、使用する同軸ケーブルは何で決まるかというと、伝送する信号の周波数と電力(耐電圧)が第一の要素でしょう。これに伝送距離に伴う伝送損失や配線形態（フレシキブル or リジット)などを勘案してケーブルが決まり、使用できるコネクタも絞り込まれます。なお、仕様上の最高周波数は理想的な接続状態で使う場合の値ですので、実際の使用に当たっては十分な余裕を見込んでください。また一見同じコネクタに見えても使用できる最高周波数が異なる製品もありますのでよく確認してください。

ギュッと締まる・カチッとはまる

■接続方式

ねじ締めのとそうでないものの違いは何ですか。

同コネクタの接続方式もコネクタを決める際の一要素です。接続方式には振動等がある環境でも確実な接続が得られる「ねじ接続」、バネの働きにより押し込むとカチッとはまる「スナップオン」、抜き差しが簡単な「スライドオン」、押して少し回転させることで抜き差しする「バイヨネット」などがあります。例えば測定器の入出力端子など抜き差しの機会が多い機器にはバイヨネット方式の BNC が向いていますが、同じケーブルに対しても通信機器のように抜き差しの機会が少ない代わりに確実な接続を必要とする用途にねじ接続の TNC が適しているというわけです。因みに、ねじ接続は手で回すタイプ(N 等)とスパナで回すタイプ(SMA 等)があります。接続時にスパナを回すスペースの確保などは意外と見落としやすいものです。

反射に逆らわない接続

■損失とインピーダンス整合

同軸ケーブルには必ず同軸コネクタを使わないとダメですか。

高周波信号の接続や伝送に同軸ケーブルを使うのは、送り側と受け側、それに伝送路のインピーダンスを整合させることで反射による伝送ロスを無くすることが主要な目的です。したがって、インピーダンス整合が保たれるのであればはんだ付けなどで同軸ケーブルを接続してもかまわないと考えることはできます。しかしながら、例えば二本の同軸を整合を保ちながらはんだ付けで接続するのは現実的には困難です。

＜図２＞はインピーダンスの不整合による VSWR(電圧定在波比)と不整合減衰量、つまり反射によって生じるロス(Return loss)の関係を示したグラフです。ラフな接続では VSWR が３を超えることも珍しくありませんが、VSWR=3 の時の不整合減衰量は 6dB で、送り出した電力の 25%もがロスになることを示しています。これに対して同軸コネクタを使えば VSWR を 1.2 程度以下に抑えることができ 1% 以下の損失で済みます。また、機器間をケーブルで接続する場合などには取り付け易さと共に取り外し易すいことも必要です。同軸コネクタはインピーダンス整合が保たれるうえ脱着が容易ですから、何れの要求も満たします。

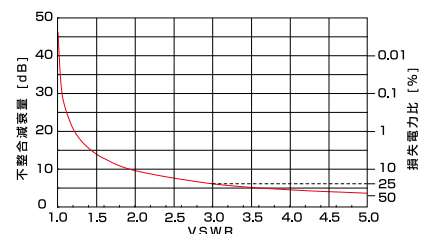



図２：VSWR と不整合減衰量

50 と 75 の不思議

■構造とインピーダンス

同じコネクタで 50 Ωと 75 Ωがあるのは何故ですか。

同軸円筒状をした構造体の特性インピーダンスは両導体の内外径比と両者間に介在する絶縁物質の誘電率で決まります。同軸コネクタは同軸ケーブルのインピーダンスに合致するように作られているので、同じ形状をしたコネクタでもインピーダンスが 50 Ωと 75 Ωのものとでは絶縁体の材料もしくは形状が違うはずです。図＜３＞に BNC について 50 Ω品と 75 Ω品比較を示しました。中心導体を囲む絶縁体の形状が異なっているのが分かります。BNC の場合、両者は機械的には相互接続できてしまうので、ウッカリして間違わないように注意してください。なお、N 型にも 50 Ωのものと 75 Ωのものがありますが、両者は機械的にかみ合いません。＜後編へ続く＞

図３：50 Ωと 75 Ωの BNC
左の二つが 75 Ω品 、右の二つが 50 Ω品

その35 同軸コネクタ編【後編】

＜取材協力：ユウエツ精機㈱＞

謎の男女関係

■間違いやすい呼称

P とか J とか色々あってよく分かりません。

同軸コネクタは凹と凸の中心導体をかみ合わせることで同軸構造を保ったまま確実な接続を実現しています。したがってコネクタが凹と凸のどちら側であるかを明示する必要があり、そのための表記としてPやJなどの記号が用いられます。呼び習わし方としてオスとメス、プラグとジャックなどがありますが、他のコネクタ類でも呼び方は同じですので統一して憶えておくと良いでしょう。＜図1＞に呼び方を整理しておきました。
＜図2 A,B＞は BNC のジャックとプラグを示しています。図からは分かりにくいのですが、A が中心導体が尖ったプラグ(P,M, オス) で、B は中心導体が凹状になったジャック(J,F, メス)です。一方、同図の C は同じ BNC のメスですが、機器のパネル面などに取り付けるためのもので、この場合はレセプタクル(Receptacle　記号：R)と呼ばれます。同図はストレートタイプの前側ねじ止め式のレセプタクルですが、他にも取り付け面がフランジ(ねじ穴の空いた四角いツバ状)になったものやプリント基板に直付けするもの、直

中心導体の形状：凸	中心導体の形状：凹
オス（雄）	メス（雌）
M：(Male)	F：(Female)
プラグ	ジャック
P：(Plug)	J：(Jack)

図1：オスーメスの表記

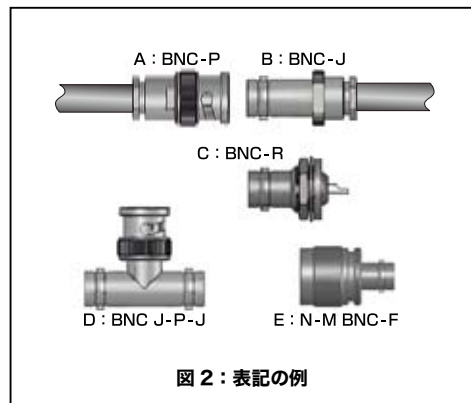



図2：表記の例

角方向に取り付けるものなど様々なタイプがあります。ちなみに、＜図2＞の D と E は BNC の T 型分岐コネクタと N から BNC への変換コネクタです。それぞれ各端子のオスとメスの関係を含めて示すと、図の T 分岐はジャック - プラグ - ジャックになっているので [BNC J-P-J]、変換コネクタの方は N のオス(Mail)と BNC のメス(Female)が付いているので [N-M BNC-F] ということになります。
オスーメスの関係で注意したいのは、SMB のコネクタです。SMB は＜図3＞に示したとおりプラグ(オス)の中心導体が凹状(メスコンタクト)となっていて他のコネクタとは逆だからです。＜図4＞には SMA の場合を示しておきましたので較べてみてください。

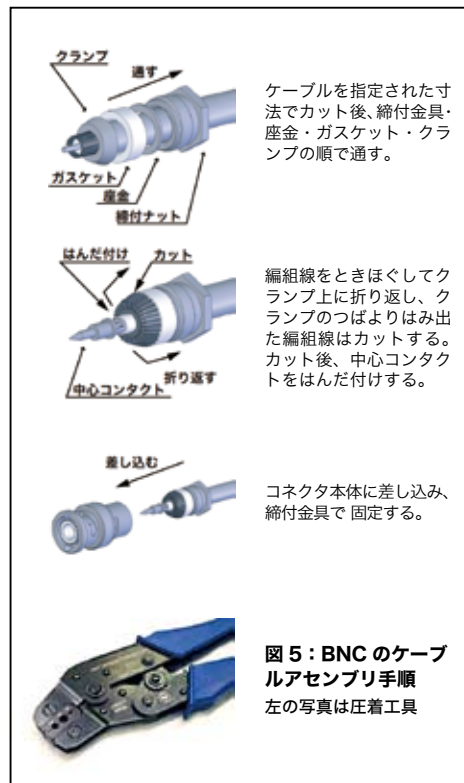
図3：SMB の中心導体
左の二つがプラグ（メスコンタクト）
右の二つがジャック（オスコンタクト）

図4：SMA の中心導体
左がプラグ（オス コンタクト）
右がジャック（メス コンタクト）

細かな気配り

■ケーブルアセンブリ

ケーブルとの接続は自分でやってもかまいませんか 。

仕組みの上から言うと同軸ケーブルとコネクタは直接的かつシンプルに接続されるようになっていますので、難しいものではありません。ただし、同軸線路としてインピーダンスを乱してはなりませんので、自分でアセンブリする場合は慎重な作業が求められます。＜図5＞は BNC のプラグをアセンブリする際の手順例です。各部品をケーブルに通す順序を間違わないことはもちろん、ケーブルの外皮、編組、絶縁体、中心導体各部のカット寸法(剥きしろ）はメーカーの指示書に従って正確にカットし、編組は十分に " ほぐす " といったことも厳守してください。
さらに、コネクタの中心導体をはんだ付けする際は " はんだ " の熱で絶縁体を変形させることの無いよう手早い作業を心がけてください。熱が逃げやすいように中心導体をメスのコネクタに差し込んで作業するのもひとつの方法です。
同軸ケーブルの編組処理は以外とやっかいで、作業のバラツキがでやすい、数が多い場合は圧着タイプのコネクタを使用することも多くなっています。その場合は、指定した圧着器を使い、圧着強度の管理も忘れないようにしてください。また、アンテナ設備など屋外で使用することもあると思います。その場合、多くのコネクタは自身に防水機能は備えていませんので、接続後は自己融着テープを巻くなどのシール処理を施してください。

ケーブルを指定された寸法でカット後、締付金具・座金・ガスケット・クランプの順で通す。

編組線をときほぐしてクランプ上に折り返し、クランプのつばよりはみ出た編組線はカットする。カット後、中心コンタクトをはんだ付けする。

コネクタ本体に差し込み、締付金具で 固定する。

図5：BNC のケーブルアセンブリ手順
左の写真は圧着工具

不安定要素を取り払う

■ケーブルアセンブリ

加工に自信が持てません 。

ポータブル機器の内部や通信機のボード間接続などでは SMK や MMCX といった極小のコネクタと極細のケーブルを組み合わせることも多くなってきました。また、通過する信号の周波数も GHz ～数十 GHz と高くなってきています。場合によってはリジット(Rigid：硬質)やセミリジットのケーブルも使われます。これらのケーブルアセンブリには精密さが要求されるほか専用の工具が必要だったりしますので、アセンブリ済みのケーブルを購入するかアセンブリ作業をコネクタメーカに委ねることで不安定要素を取り払うのが妥当です。

図6：ケーブルアセンブリの製品例

過信は禁物

■応用製品の注意事項

コネクタに終端抵抗が付いているのとかもありますね 。

同軸コネクタの応用製品として整合された抵抗器を取り付けた無反射終端器(Termination)や減衰量が定められた固定減衰器(Attenuator)、さらに分配器や合成器、サージプロテクタなどがあります。これらのうち無反射終端器と固定減衰器は内部に抵抗器が入っているため、それぞれについて使用できる最大電力が規定されています。最大電力を超えて使用すると内部の抵抗が焼損しますので注意してください。なお、電子計測などでは先に＜図2のD＞で示したようなT型の分岐コネクタを使うことがよくあります。その場合、同軸線路としての形状から外れることになるので、インピーダンス等は保証されないことも頭に入れておくとよいでしょう。

図7：無反射終端器の製品例

その36 積層セラミックコンデンサ編 ＜取材協力：太陽誘電㈱＞

小さいのに大きい

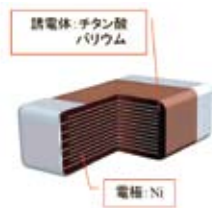
■小型大容量

どんな特長があるコンデンサですか。

積層セラミックコンデンサ（以下 MLCC）は、酸化チタンやチタン酸バリウムなどの誘電体と電極を多数積み重ねたチップタイプのセラミックコンデンサです＜図１＞。セラミックが持つ優れた高周波特性などのメリットを活かしながら小型で大容量を実現できるため、電子回路の広い範囲で使われるようになりました。特に大容量の MLCC はバイパス、デカップリング、平滑、バックアップなどに用途が拡がり、電解コンデンサやタンタルコンデンサからの置き換えも進んでいます。

誘電体：チタン酸バリウム

電極：Ni

図１：MLCC の内部構造

コンデンサなのに LCR

■等価回路で考える

高周波や高速信号に向いているのですか。

積コンデンサは誘電体を電極で挟み込んだ素子ですから、誘電体の特性がコンデンサの特性に大きく影響します。大容量 MLCC に使われる誘電体は高誘電率のセラミックですので、シンプルな構造のまま容量の大きなコンデンサを形成でき他のコンデンサに比べ高周波性能に優れると同時に高絶縁かつ低リークで耐湿性などにも優れます。とはいえ、現実には有限の特性を有し、無限の周波数まで使える理想コンデンサというわけではありません。実際の部品としてのコンデンサには電極構造などに伴うインダクタンス成分なども含まれます。結果として、＜図 2A ＞の等価回路のように理想コンデンサと直列に小さな抵抗（ESR）とインダクタンス（ESL）が接続された部品であると考えることができます。LCR の直列回路ですのでインピーダンスは共振特性を示します。共振周波数は C と ESL の値で決まり、共振周波数付近の特性は ESR に支配され具体的には＜図 2B ＞のようになります。厳密には ESR は周波数によって変化するなど図 2A の等価回路では表現しきれない部分もありますが、他のコンデンサに比べて ESL、ESR 共に小さいのでコンデンサとして高い周波数まで動作し共振周波数付近のインピーダンスが小さく、低インピーダンス領域が広いので、高周波や高速信号あるいはノイズ対策等に向いていると言えます。例えば＜図３＞は電源の出力に MLCC とタンタルコンデンサを使った場合（何れも 100 μ F）についてパルス負荷に対する応答を比較したものです。タンタルでは ESR によるステップ状の電圧変動が見えますが、MLCC は ESR が小さいので段差がほとんど観測できません。一方、＜図４＞はコンデンサをデカップリングに使用したときの過渡応答の比較例です。因みにデカップリングでの端子電圧は負荷の急変に対して時間的に３種類の低下形態を示します。第一は急変直後 10ns 以内の低下でコンデンサの ESL によって生じます。第二は 200ns 程度までに起こる低下で、これは主に容量で決まります。第３は ESR によるもので、長い尾を引いた低下として観測されます。

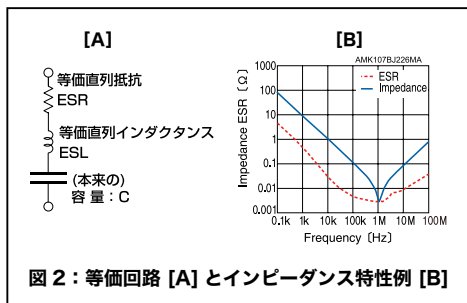



図２：等価回路 [A] とインピーダンス特性例 [B]

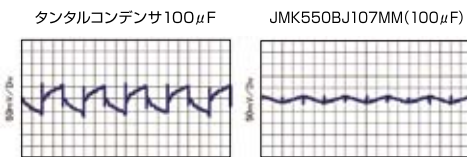



図３：電源に使用時のパルス負荷応答

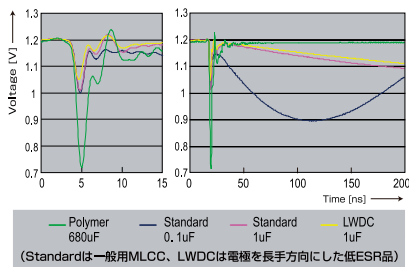



図４：デカップリング回路での応答比較例

やや、ややこしい

■形状と特性の種類と表記

温度特性とか種類がたくさんあります。

MLCC は、製造に当たって誘電体の特性を様々に制御できるので、色々な電気特性を持つ製品バリエーションがあります。選択に当たっては使用目的に合ったものを選ぶことが大切です。手順としては静電容量と耐圧を出発点とし、サイズ、温度特性などで絞り込むのが基本です。サイズは一般の SMD（表面実装部品）と同様に縦横の長さで呼ばれます。その際、ミリを基準にした日本流（JIS 相当）とインチを基準にしたアメリカ流（EIA 相当）二通りの呼び習わし方があり、例えば EIA の 0603 サイズは JIS では 1608 となるなど間違えやすい面があるので注意してください＜図５＞。また、各種の温度特性を持つ製品群があるのが MLCC の大きな特徴で、選択のポイントでもあります。MLCC の温度特性はまず Class1 と Class2 の２種類に大別され何れも静電容量変化率と使用温度範囲によって特性コードが規定されています。Class1 は信号回路用で、比較的小容量のグループです。0 ± 60ppm/℃（CH 特性）など温度に対する容量変化率がごく僅かなものや容量にわずかな負の温度係数を持たせることで回路の温度補償などに用いるためのもの（RH 特性など）があります。一方、Class2 は電源回路やカップリングなどに用いる大容量のグループです。特性の種類が多いほかこちらも JIS と EIA の呼称がある、JIS と EIA で基準温度が異なる等のためやや分かりにくいかもしれませんが、特性の違いが大きいので選択に当たっては確認を忘れないでください。＜図 6A,B ＞に特性と呼称の関係を整理しておきました。

日本(JIS)	アメリカ(EIA)	長さ×幅(mm)
0603	0201	0.6 x 0.3
1005	0402	1.0 x 0.5
1608	0603	1.6 x 0.8
2012	0805	2.0 x 1.25
3216	1206	3.2 x 1.6
3225	1210	3.2 x 2.5
4532	1812	4.5 x 3.2
5750	2220	5.7 x 5.0

図５：サイズの表記

■ Class1 製品

温度特性（カッコは相当EIA）	温度係数範囲〔ppm/℃〕 ※1
C H（C0H）	0±60
R H（R2H）	−220±60
S K（S2K）	−330±250
U J（U2J）	−750±120

※1：20℃における静電容量を基準
使用温度範囲：−55～＋125℃

図６：温度特性コード [A]

温度特性コード EIA	温度特性コード JIS	静電容量変化率（%）	温度範囲（℃）	静電容量許容差（%）
X7R		±15	-55～+125	M：±20 K：±10
X5R		±15	-55～+85	
	BJ	±10	-25～+85	
X7S		±22	-55～+125	
X6S		±22	-55～+105	
X5S		±22	-55～+85	
	C	±20	-25～+85	
Y5U		+22，-56	-30～+85	Z：+80，-20
	E	+20，-55	-25～+85	
Y5V		+22，-88	-30～+85	
	F	+3，-80	-25～+85	

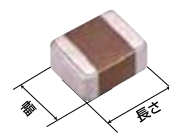
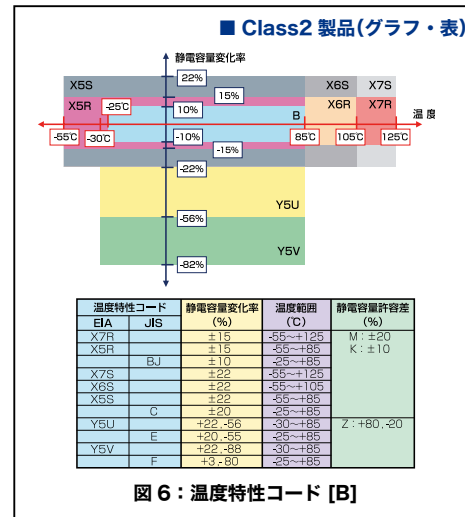



図６：温度特性コード [B]

電圧で容量が変わる

■バイアス依存と DC 定格

選定や設計に当たって注意点はありますか。

MMLCC（特に Class2）は小型・大容量・低 ESR・低 ESL が大きな特長ですが、同時に他のコンデンサとは異なる特性を示す部分もあります。DC 電圧に対する容量変化が大きいのもそのひとつです。＜図７＞は定格電圧 10V 容量 100 μ F 品の DC 電圧対容量特性例ですが DC10V が加わった状態での容量は無印加時の 30%まで低下します。電源回路などに使用する場合に直流電圧が加わることで容量が回路の許容値下回ることも考えられるわけで、設計に際しては値に余裕を見込んでおく必要があります。耐電圧は変動のピークで定格いっぱいまで見込むことができますが、定格の 80%以下で使うことが推奨されます。スイッチング電源回路などで使用する場合のリップル電流なども定格値以内で使わなければならないことは言うまでもありません。（部品特性については、電子部品各社よりツールが提供されています。太陽誘電の場合はホームページよりダウンロード出来ますので参考にして下さい。）

図７：DC バイアス対静電容量特性例